

GUIA DOCENTE DE LA ASIGNATURA (∞)  
ELECTRÓNICA FÍSICA

Curso 2020-2021

(Fecha última actualización: 07/07/2020)

(Fecha de aprobación en Consejo de Departamento: 15/07/2020)

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Estructura de la Materia	Electrónica Física	4º	2º	6	Obligatoria
PROFESORES <sup>(1)</sup>			DIRECCIÓN COMPLETA DE CONTACTO PARA TUTORÍAS (Dirección postal, teléfono, correo electrónico, etc.)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Juan E. Carceller Beltrán.</li> <li>Francisco M. Gómez Campos.</li> </ul>			Dpto. de Electrónica y Tecnología de Computadores. 2ª planta, Facultad de Ciencias, Sección de Física.		
			Despacho Prof. J. E. Carceller: nº 1		
			Despacho Prof. F. M. Gómez Campos: nº 11. Correo electrónico: jcarcell arroba ugr.es y fmgomez arroba ugr.es		
			HORARIO DE TUTORÍAS Y/O ENLACE A LA PÁGINA WEB DONDE PUEDAN CONSULTARSE LOS HORARIOS DE TUTORÍAS <sup>(1)</sup>		
			Prof. J. E. Carceller: L., Mi.: 09h a 13h. Prof. F.M. Gómez: <a href="http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/f55a9cf2a750b55ab6e5a24ac1182e92">http://directorio.ugr.es/static/PersonalUGR/*/show/f55a9cf2a750b55ab6e5a24ac1182e92</a>		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física			Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. Grado en Ingeniería Electrónica Industrial.		

<sup>1</sup> Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/))



#### PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)

Se recomienda tener cursadas las asignaturas Electromagnetismo, Física Estadística, Física Cuántica y Física del Estado Sólido, así como tener los conocimientos correspondientes a las asignaturas de matemáticas propias de la titulación.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)

En esta asignatura se explicarán los principios básicos de los Semiconductores, su estructura física y tipos, las propiedades de transporte de corriente eléctrica, los procesos de Generación y Recombinación de portadores, las ecuaciones de difusión deriva, la unión P-N, las heteroestructuras y capas bidimensionales de huecos y electrones. También se tratarán las células solares y fotodiodos, como aplicación de la interacción de la radiación luminosa con las uniones P-N.

#### COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

- CT1: Capacidad de análisis y síntesis.
- CT2: Capacidad de organización y planificación.
- CT5: Capacidad de gestión de la información.
- CT6: Resolución de Problemas.
- CT8: Razonamiento crítico.
- CT9: Aprendizaje autónomo
- CE1: Conocer y comprender los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- CE2: Estimar órdenes de magnitud para interpretar fenómenos diversos.
- CE4: Medir, interpretar y diseñar experiencias en el laboratorio o en el entorno
- CE5: Modelar fenómenos complejos, trasladando un problema físico al lenguaje matemático.
- CE7: Trasmirir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.
- CE9: Aplicar los conocimientos matemáticos en el contexto general de la física.

#### OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

El alumno sabrá/comprenderá:

- El concepto de hueco en un semiconductor y su utilización para evaluar el transporte de carga.
- Cómo obtener las concentraciones de huecos y electrones en un semiconductor y su concentración intrínseca.
- El uso de impurezas en los semiconductores para determinar su tipo y comportamiento.
- El cálculo y determinación de la densidad de huecos y electrones en un semiconductor extrínseco.
- El concepto de neutralidad eléctrica aplicado a semiconductores.
- La física de los mecanismos de generación y recombinación de portadores en semiconductores, el concepto de bajo nivel de inyección y el de pseudo-nivel de Fermi para electrones y huecos, así como su uso para la determinación de concentraciones de portadores estáticas y transitorias.
- La movilidad de los electrones y huecos y su dependencia de la temperatura, de las concentraciones de impurezas y de los campos eléctricos.
- Las ecuaciones de Difusión-Deriva (o Arrastre) y las de continuidad en semiconductores. Su resolución en algunos casos simples.



- El funcionamiento de la unión P-N en equilibrio y bajo polarización: Constitución real y modelos prácticos. Los modelos sencillos para resolución analítica. El campo y el potencial eléctrico "auto-constituido" (Built-in). El concepto de Zona de Carga Espacial. Las relaciones de equilibrio entre las corrientes de difusión y de arrastre. La corriente inversa de saturación y su dependencia con la temperatura. El concepto de polarización en directo y en inverso. Ecuación y forma de la curva I-V característica de una unión P-N. Una aplicación simple de la unión P-N como diodo: la rectificación de señales alternas.
- Los principios básicos de la interacción luz (radiación electromagnética)-semiconductor. El efecto fotovoltaico. La estructura y los fundamentos de los dispositivos detectores de luz: Fotodiodos y Células Solares. La curva I-V de una célula solar. La potencia suministrada y el rendimiento energético.

## TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

### TEMARIO TEÓRICO:

- Tema 1. Revisión de los resultados de la teoría de bandas en los sólidos. Características de las bandas de los semiconductores. Corriente de los electrones en una banda. Modelo semiclásico. Modelo de la masa efectiva. Matriz de la masa efectiva. Concepto de hueco.
- Tema 2. Concentración de electrones y huecos en los semiconductores. Semiconductores intrínsecos. Densidad de estados. Función de ocupación. Concentración intrínseca  $n_i$ . Dopado de los semiconductores: impurezas aceptadoras y donantes. Factores de ocupación de los niveles de energía creados por las impurezas. Ecuación de neutralidad eléctrica.
- Tema 3. Generación y Recombinación de portadores: Conceptos básicos. Tiempo de vida media de los portadores. Tipos de recombinación: banda a banda, banda a centro (Recombinación SRH) y Auger: Modelos elementales y expresión de la vida media de los portadores. Pseudo-niveles de Fermi.
- Tema 4. Transporte de carga en los semiconductores: Movilidad de los portadores. Dependencia con la Temperatura y con la concentración de impurezas. Efectos de campos eléctricos altos.
- Tema 5. Procesos de difusión en semiconductores. Corrientes de difusión. Corrientes de Difusión y Deriva: Consecuencias en Equilibrio termodinámico. Ecuaciones de continuidad.
- Tema 6. La unión P-N: Esquema de fabricación de una unión P-N real. Esquema teórico. La unión P-N en equilibrio termodinámico: Descripción cualitativa. Modelo de la unión abrupta e hipótesis de vaciamiento: Cálculo del Campo y Potencial eléctrico en la estructura. Heterouniones y Heteroestructuras: Gases 2D.
- Tema 7: La unión P-N en régimen estático: Descripción cualitativa. Hipótesis de baja inyección. Curva I-V. Zona de deplexión: Capacidad de Transición. Una aplicación común: Rectificación de una señal alterna.
- Tema 8: Dispositivos Semiconductores Optoelectrónicos I: Fotodetectores y células solares. Principio de Funcionamiento. Similitudes y diferencias. Curva I-V. Potencia máxima suministrada por una célula solar. Eficiencia energética.

### TEMARIO PRÁCTICO:

- Prácticas de Simulación de estructuras con semiconductores utilizando la plataforma Nanohub.



## BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- “Física del Estado Sólido y de los semiconductores”. J. P. Mckelvey. Ed. Limusa, 1976.
- “Solid State Electronic Devices”, 6th Edition. B. G. Streetman, S. K Banerjee Pearson Prentice Hall, 2006. USA. (ISBN: 0-13-149726-X)
- “Semiconductor Devices: Physics and Technology”. 2nd Edition. S. M. Sze. John Wiley and Sons, 2002. (ISBN: 0-471-33372-7)

### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- “Dispositivos Electrónicos. Problemas Resueltos”. Juan B. Roldán, Fco. Jesús Gámiz. Editorial Ra\_MA, 2001.
- “Fundamentals of Solid State Electronics”. C. T. Sah World Scientific, 1993 (ISBN: 9810206380)
- “Fundamentals of Semiconductor Theory and Device Physics”. S. Wang. Prentice Hall, 1989. (ISBN: 0-13-344409-0)
- “Photonic Devices”. J. M. Liu. Cambridge University Press, 2005. (ISBN: 978-0-521-55195-3)
- “Fundamentals of Photonics” B. E. A. Saleh, M. C. Teich. 2nd. Edition. John Wiley and Sons, Inc., 2007. (ISBN: 978-0-471-35832-9). Capítulos 16, 17 y 18)
- La bibliografía básica de las asignaturas “Física Estadística” y “Física del Estado Sólido”.

## ENLACES RECOMENDADOS

Algunos vídeos realizados por miembros del Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores sobre distintos aspectos de la física de los semiconductores y dispositivos electrónicos relacionados con el temario de la asignatura:

Densidad de Estados: <http://www.youtube.com/watch?v=cqUCYramcFA>

Unión P-N: [http://www.youtube.com/watch?v=hsjGw\\_c-Nn4](http://www.youtube.com/watch?v=hsjGw_c-Nn4)

MOSFET: <http://www.youtube.com/watch?v=9JKj-wlEPMY>

El siguiente enlace no trata sobre materia del temario de la asignatura propiamente, pero puede contribuir a la formación del alumno y ser un adecuado complemento para la comprensión del funcionamiento del osciloscopio:

<http://www.youtube.com/watch?v=wVXOIwtkFZk>

## METODOLOGÍA DOCENTE

El profesor expondrá en clase los contenidos teóricos necesarios para afrontar con éxito las siguientes actividades que deberán realizar los estudiantes.

- Resolución de problemas al final de cada tema.
- Desarrollo y ampliación de contenidos teóricos.
- Prácticas de Simulación. Asistencia Obligatoria.

## EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE



## LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

Para la evaluación de esta asignatura se realizarán tres tipos de pruebas:

- Prueba tipo I: Exámenes parciales tipo test a lo largo del curso, 20% de la calificación final. La no realización de alguno de los test equivaldrá a un 0 sobre 10 en ese test.
- Prueba tipo II: Práctica de simulación: 40% de la calificación final.
- Prueba tipo III: Examen final de problemas: 40% de la calificación final.

Para hacer la media ponderada a la que se refiere el apartado anterior habrá que obtener al menos un 4 sobre 10 de nota media del conjunto de los test realizados, y una nota mínima de 4 sobre 10 en las pruebas tipo II y III. En caso de no obtener un 4 en alguno de los tipos de pruebas, la nota final será el 40% de la nota mayor obtenida en los otros tipos, sin promedio.

La superación de la asignatura requiere una nota final igual o superior a 5 sobre 10.

- Aquellos alumnos que se presenten a la convocatoria extraordinaria, podrán, si lo desean, mantener la nota obtenida en cualquiera de los tipos de pruebas anteriores si las hubieren realizado a lo largo del curso. En caso contrario, o si desean mejorar la nota, podrán hacer un nuevo examen de problemas en la fecha oficial del examen extraordinario, un nuevo test que será único o un nuevo trabajo de simulación en fechas que se fijarán previamente. Las notas de los tipos de pruebas que se hagan de nuevo (o por primera vez) serán las que se utilizarán para la nota final. Las condiciones para superar la asignatura serán las mismas que las de la convocatoria ordinaria.

## DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA "NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA"

- El examen final único incluirá una parte práctica y otra escrita y con uso de ordenador (o equivalente). La parte práctica consistirá en la realización de una práctica de simulación y explicación de sus resultados, excepto para quienes hubieren realizado y superado las prácticas durante el curso, a los que se les mantendrá la nota que hayan obtenido, si así lo desean. La parte escrita constará de preguntas de teoría (tipo test, por ordenador) con un peso del 40% de la nota final de la parte escrita de y problemas de la materia objeto del temario (60% de la nota final de la parte escrita). Para aprobar la asignatura, se deberá sacar una puntuación mínima de 5 sobre 10 en cada parte.



## ESCENARIO A (ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PRESENCIAL Y NO PRESENCIAL)

### ATENCIÓN TUTORIAL

#### HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

#### HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

- correo electrónico  
- meet.google.com (si la Universidad de Granada mantiene esta plataforma para uso docente).

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

- Se procurará que la presencialidad sea la mayor posible especialmente en las clases de grupos pequeños que, por su número, es más fácil poder realizarlas de esta forma. Las clases que no se puedan impartir presencialmente, se darán por medios telemáticos (meet.google.com o equivalente).

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

#### Convocatoria Ordinaria

Se realizará el examen presencial. Se aplicarán las pruebas y condiciones expuestas en el apartado anterior "EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.) ya que, salvo el examen de problemas, el resto se realizará telemáticamente y con pequeñas intervenciones presenciales a lo largo del curso.

#### Convocatoria Extraordinaria

Se realizará el examen presencial. Se aplicarán las pruebas y condiciones expuestas en el apartado anterior "EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.), último párrafo.

#### Evaluación Única Final

Se realizará el examen presencial. Se aplicarán las pruebas y condiciones expuestas en el apartado anterior, DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA "NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA".



## ESCENARIO B (SUSPENSIÓN DE LA ACTIVIDAD PRESENCIAL)

### ATENCIÓN TUTORIAL

#### HORARIO

(Según lo establecido en el POD)

#### HERRAMIENTAS PARA LA ATENCIÓN TUTORIAL (Indicar medios telemáticos para la atención tutorial)

- correo electrónico  
- meet.google.com (si la Universidad de Granada mantiene esta plataforma para uso docente).

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE

Las clases, tanto de teoría como de problemas se impartirán por medios telemáticos (meet.google.com o equivalente) en los horarios establecidos. La metodología cambia poco ya que los alumnos pueden intervenir en las clases para aclarar conceptos o hacer aportaciones a la clase.

### MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN (Instrumentos, criterios y porcentajes sobre la calificación final)

#### Convocatoria Ordinaria

- **Pruebas de evaluación síncrona tipo Test.**

Se realizarán varias pruebas de tipo test con respuestas únicas o cortas, pudiendo incluirse problemas que requieran poco tiempo para su evaluación mediante los herramientas telemáticas disponibles en PRADO. La última prueba se realizará en la fecha de la convocatoria ordinaria. Los profesores podrán realizar una entrevista telemática con aquellos alumnos que se considere oportunos para aclarar aspectos de las respuestas aportadas. Estas entrevistas serán grabadas y podrán influir en la nota final.

La nota final de estas pruebas será la media de las notas obtenidas en las diferentes pruebas con una variación de un 20% según resultados de la entrevista cuando se realice.

**Porcentaje sobre calificación final: 40% si la media de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas alcanza un 4 sobre 10.**

- **Práctica de simulación con ordenador:**

Realización de una trabajo práctico consistente en la simulación de una estructura con semiconductores. El alumno debe redactar una breve memoria en la que exponga los fundamentos y el método de análisis seguido para la resolución del problema, así como los resultados obtenidos. Los profesores podrán realizar una entrevista telemática con aquellos alumnos que se considere oportunos para aclarar aspectos de las respuestas aportadas. Estas entrevistas serán grabadas y podrán influir en la nota final.

**Porcentaje sobre calificación final: 40% si la nota de esta práctica supera 4 sobre 10**

Para aprobar la asignatura es necesario sacar una nota mínima de 5 sobre 10 como resultado de la suma de las notas resultantes de los dos apartados anteriores. En el caso de que la notas en alguna de estas dos pruebas no alcance la nota mínima de 4 sobre 10, la nota final será el resultado de aplicar el 40% a la mayor de las dos.



- **Prueba de resolución de un problema en un escenario asíncrono:**

Se propondrá un problema a resolver, previa solicitud por correo electrónico de los alumnos que lo deseen, que podrá ser distinto para cada alumno. La solución del problema se enviará telemáticamente al profesor. Los alumnos serán entrevistados sobre la forma de resolver el problema usando Google Meet (necesaria cámara y micrófono) grabando la entrevista según la normativa de la Universidad de Granada.

Se valorará la originalidad para resolver el problema y la capacidad para aplicar conocimientos de la asignatura en su resolución.

**Porcentaje sobre calificación final: 20%, aplicable solamente en el caso de haber superado la nota mínima de 4 en cada una de las dos pruebas anteriores**

#### Convocatoria Extraordinaria

- **Prueba de evaluación síncrona tipo “test”:**

Se mantendrá la nota media del conjunto de las pruebas de test obtenidas a lo largo del curso. Los alumnos que deseen mejorar la nota de esta parte deberán realizar un test de preguntas de respuesta única, corta, o problemas de resolución en un tiempo breve, y que cubran todo el temario de la asignatura. El número de estas preguntas será considerablemente mayor que el de las preguntas de los test realizados a lo largo del curso.

En el caso de realizar de nuevo la prueba, la nota que se aplicará será la que el alumno obtenga en este ejercicio, independientemente de la que hubiera obtenido en la convocatoria ordinaria.

**Porcentaje sobre la calificación final, 40%**

- **Práctica de simulación:**

Se mantendrá la nota de la práctica de simulación. Los alumnos que deseen mejorar la nota de la práctica deberán realizar una práctica de simulación (diferente de la que se ha hecho en el curso), y entregar una breve memoria de la misma tal y como se indicará en su momento. Los profesores podrán realizar una entrevista telemática con aquellos alumnos que se considere oportunos para aclarar aspectos de las respuestas aportadas. Estas entrevistas serán grabadas y podrán influir en la nota final.

En el caso de realizar de nuevo la prueba, la nota que se aplicará será la que el alumno obtenga en este ejercicio, independientemente de la que hubiera obtenido en la convocatoria ordinaria.

**Porcentaje sobre la calificación final, 40%**

Para aprobar la asignatura es necesario sacar una nota mínima de 5 sobre 10 como resultado de la suma de las notas resultantes de los dos apartados anteriores. En el caso de que la notas en alguna de estas dos pruebas no alcance la nota mínima de 4 sobre 10, la nota final será el resultado de aplicar el 40% a la mayor de las dos.

- **Prueba de resolución de un problema en un escenario asíncrono:**

Se mantendrá la nota de esta prueba para aquellos alumnos que lo deseen. Los que quieran mejorar la nota, deberán resolver un problema que se les propondrá, previa solicitud por correo electrónico, y que podrá ser distinto para cada alumno. La solución del problema se enviará telemáticamente al profesor. Los alumnos serán entrevistados sobre la forma de resolver el problema usando Google Meet (necesaria cámara y micrófono) grabando la entrevista según la normativa de la Universidad de Granada.

Se valorará la originalidad para resolver el problema y la capacidad para aplicar conocimientos de la asignatura en su resolución.

En este caso, la nota que se les aplicará será la que obtengan en este ejercicio, independientemente de la que hubieran obtenido en la convocatoria ordinaria.

**Porcentaje sobre calificación final: 20%, aplicable solamente en el caso de haber superado la nota mínima de 4 en cada una de las dos pruebas anteriores.**



## Evaluación Única Final

- **Prueba de tipo “test”:**  
Preguntas de tipo test de respuesta única o corta, y problemas de resolución en un tiempo corto que cubran todo el temario de la asignatura. El número de estas preguntas será considerablemente mayor que el de las preguntas de los test realizados a lo largo del curso.  
**Porcentaje sobre la calificación final, 50%**
- **Práctica de simulación:**  
Realización de un trabajo práctico consistente en la simulación de una estructura con semiconductores. El alumno debe redactar una breve memoria en la que exponga los fundamentos y el método de análisis seguido para la resolución del problema, así como los resultados obtenidos. Los profesores podrán realizar una entrevista telemática con aquellos alumnos que se consideren oportunos para aclarar aspectos de las respuestas aportadas. Estas entrevistas serán grabadas y podrán influir en la nota final.  
**Porcentaje sobre calificación final: 50%**

Para superar la asignatura hace falta obtener una nota mínima de 5 sobre 10 de media total de los dos ejercicios, y al menos un 4 sobre 10 en cada una de las dos partes de las que consta esta evaluación.

INFORMACIÓN ADICIONAL (Si procede)



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR  
[grados.ugr.es](http://grados.ugr.es)